

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**MADARAK ÁLTALI MAGTERJESZTÉS ÉS
TALAJBOLYGATÁS HATÁSA SZÁRAZGYEPEK
STRUKTÚRÁJÁRA ÉS FAJKÉSZLETÉRE**

BORZA SÁNDOR

Témavezető

Prof. Dr. Deák Balázs
tudományos tanácsadó



DEBRECENI EGYETEM
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
Debrecen, 2024

Bevezetés

Szikes tájakban található gyepi ökoszisztémák természetvédelmi szerepe

A gyepi élőhelyek olyan szárazföldi ökoszisztémák, melyeket elsősorban lágyszárú fű- és kétszikű növényfajokból álló növényközösségek alkotnak. Általánosságban elmondható, hogy ezeket az élőhelyeket az abiotikus (például az éghajlati elemek vagy a tűz), és biotikus (például a fajon belüli, és fajok közötti ökológiai kapcsolatok vagy a kezeléshez kapcsolódó tevékenységek, például a legeltetés) tényezők együttes hatása alakította ki és tartja fenn. A gyepek világszerte elterjedtek, a Föld szárazföldi területének mintegy 41 százalékát teszik ki (White és mtsai., 2000). Az Európában előforduló szárazgyepek kiemelkedő természetvédelmi értékkel bírnak, számos ritka és veszélyeztetett növény- és állatfajnak nyújtanak menedéket. Mivel ezek a gyepek sok esetben őriznek kiemelkedően nagy biodiverzitást, ezért megőrzésük a természetvédelem egyik fontos feladata (Dengler és mtsai., 2014). A Kárpát-medence földrajzi adottságának köszönhetően az eurázsiai erdőssztyeppék nyugati elterjedésének határán fekszik, aminek köszönhetően egyedülálló élővilággal rendelkezik európai viszonylatban (Bátori és mtsai., 2018).

Ökoszisztéma mérnök állatok általi kisléptékű zavarások szerepe a gyepi ökoszisztémákban

Az ökoszisztéma-mérnök fajok tevékenységük során olyan környezeti feltételeket hoznak létre, módosítanak vagy tartanak fent, amelyek jelentősen befolyásolhatják más élőlények életfeltételeit (Jones és mtsai., 1994). Az ökoszisztémára kifejtett hatásuk jelentősen függ a vizsgált térbeli léptéktől (Coggan és mtsai., 2018). Kis léptékben az ökoszisztéma mérnök fajok mikroélőhelyeket hozhatnak létre más fajok számára. Az ökoszisztéma mérnök állatok jelentős hatással vannak a vegetáció összetételére és dinamikájára különböző mechanizmusok révén. Az

ökoszisztéma működésének talajbolygatás révén történő befolyásolását azonban alig dokumentálták madarak tevékenységei kapcsán, a talajbolygatást vizsgáló tanulmányok 96%-a az emlősökre összpontosít (Mallen-Cooper és mtsai., 2019). A madarak között van példa olyan üregben fészkelő fajokra, amelyek lakóüregük ásásával és használatával eltávolítják az eredeti növényzetet és talajbolygatást okoznak, ezáltal befolyásolják a lokális élőhelyi viszonyokat (McKechnie, 2006; Rengifo-Faiffer és Arana, 2019).

Alternatív megterjesztési folyamatok szerepe a gyepi ökoszisztémákban

A magok terjedése elengedhetetlen a növénypopulációk fennmaradásához, a helyi kihalás kockázatának csökkentéséhez, valamint az egyes élőhelyeken történő újbóli megtelepedés elősegítéséhez. A megterjedés tehát meghatározza a növényfajok eloszlását, egyedszámát és populációdinamikáját (Hanski, 1999; Lindborg és mtsai., 2012). Az éghajlatváltozás és emberi tevékenységek következtében megszűnő és feldarabolódó természetes élőhelyek miatt a magterjedési folyamatok jelentősége még inkább felértékelődik, mivel elősegítik a funkcionális kapcsolatok fenntartását a metapopulációk között, ezzel hozzájárulnak az ökoszisztémák működéséhez (Chen és mtsai., 2011; Fletcher és mtsai., 2018; Godó és mtsai., 2022).

Mivel számos állatfaj képes hosszú távolságokat megtenni magokkal a testén vagy az emésztőrendszerében, a zoonómia hozzájárulhat a magok hosszú távú terjedéséhez (Nathan, 2006). Néhány újabb tanulmány célja az volt, hogy feltárja és hangsúlyozza más magterjesztő vektorok fontosságát is, például a rágesálók, a ragadozó emlősök és a ragadozómadarak szerepét (Jansen és mtsai., 2012; Hämäläinen és mtsai., 2017; Pérez-Méndez és Rodríguez, 2018; Godó és mtsai., 2022).

Célkitűzés

Az értekezés célja a szárazgyepeken előforduló madárfajok élőhelyátalakító szerepének mélyebb megismerése azokon a természetvédelmi szempontból is kiemelkedő madár-növény interakciókon keresztül, amelyek hatással vannak a szárazgyepek fajkészletére és szerkezetére. Ezeket az ökológiai folyamatokat természetközeli, illetve ember által jelentősen átalakított táji környezetben vizsgáltuk, elsődlegesen a Hortobágy kistáj térségére fókuszálva. Az értekezés két fejezetből áll, melyek nemzetközi folyóiratokban megjelent impakt faktoros közleményeken alapulnak.

Darvak által okozott talajbolygatás hatása gyepi élőhelyek növényközösségeire

Tanulmányunk elsődleges célja az volt, hogy az eurázsiai daru táplálkozási viselkedéséhez kötődő talajbolygatás hatását megvizsgáljuk a szárazgyepek vegetációjának összetételére, illetve értékeljük a darvak ökoszisztéma-mérnök szerepét a vegetáció természetességének, a legeltetésre alkalmas szálastakarmány minőségének és a virágos növények jelenlétének mutatói alapján (Valkó és mtsai., 2022).

A baglyok általi másodlagos magterjesztés ökológiai szerepe nyílt élőhelyeken

Tanulmányunk fő célja a gyöngybagoly által végzett másodlagos magterjesztés ökológiai szerepének vizsgálata volt egy nagy mintaszámú csíráztatásos kísérletsorozat keretén belül. Kutatásunk során a nyílt táji környezetre fókuszáltunk, mivel ez a magterjedési rendszer alulkutatott ezeken az élőhelyeken, szemben az erdei ökoszisztémával. A másodlagos magterjesztés mellett a köpetek csírázásra és a csíranövények megtelepedésére gyakorolt hatását is vizsgáltuk (Godó és Borza és mtsai., 2023).

1. vizsgálat: Darvak által okozott talajbolygatás hatása gyepi élőhelyek növényközösségeire

Bevezetés és célkitűzések

A Hortobágyi Nemzeti Park Európa, illetve a világ egyik legnagyobb daru gyülekezőhelyévé nőtte ki magát az elmúlt néhány évtizedben (Végvári és mtsai., 2010). A terepi tapasztalatok alapján az eurázsiai darvak (*Grus grus*) szezonális, nagy létszámú jelenléte szemmel látható változásokat eredményez a hortobágyi szikes gyepeken. Táplálkozási tevékenységük révén úgynevezett „daruszántásokat” hoznak létre, amely jelentős hatással van a gyepek szerkezetére és fajkészletére (Valkó és mtsai., 2022). Ezáltal ezek a gyakori madarak az ökoszisztéma szolgáltatásokra is hatással vannak, úgynevezett ökoszisztéma mérnök fajként funkcionálnak a szikes gyepeken. Tanulmányunk célja ennek a hatásnak a pontosabb megismerése volt.

Módszerek

10 darab mintavételi helyszínt választottunk ki a Hortobágyi Nemzeti Parkban (Angyalháza, Kunmadarasi-puszt, Nagyiváni-puszt) 2019 októberében. Minden mintavételi helyszínen tíz darab 1×1 m-es négyzetet jelöltünk ki, aminek eredményeként összesen 100 bolygatott és 100 kontroll négyzetből történt a mintavételezés. Minden kvadrátban feljegyeztük az edényes növények fajlistáját, illetve a kriptogámok jelenlétét, amelyekhez megadtuk a teljes százalékos borításokat is. A terepi mintavételezést négy alkalommal végeztük el: 2020 április elején, 2020 június közepén, 2021 április elején és 2021 június közepén.

A cönológiai felmérések során kimutatott edényes növényfajokat négy morfológiai csoportba soroltuk: rövidéletű kétszikűek, rövidéletű fűvek, évelő kétszikűek és évelő fűvek. A természetvédelmi szempontú értékeléshez két mutatót használtunk: a Shannon-diverzitást és a természetességi értéket. A vegetáció természetességének jellemzésére a

növényfajokat szociális magatartási típusokba soroltuk Borhidi (1995) osztályozási rendszerének megfelelően. Két további mutatót használtunk a legelő minőségének értékelésére: a takarmánymínőségi indexet (Balázs, 1949), illetve a specifikus levélfelületet. A virágzó növények jelenlétét két mutatóval jellemeztük: a fajok virágzásának hosszával és a rovarbeporzású fajok borítási értékével. A virágzás hosszát Király (2009) munkája alapján számoltuk ki, a növényfajok hónapokban mért virágzási ideje alapján.

Általánosított lineáris kevert modelleket (GLMM) használtunk a bolygatás hatásának (két szint: bolygatott területek, bolygatatlan gyepek; magyarázó változó), illetve az évszak hatásának (két szint: tavasz, nyár; magyarázó változó) tesztelésére. Azt, hogy a növényfajok borítása különbözik-e i) a bolygatott, illetve kontroll területek között, ii) az évek (2020-2021) és iii) az évszakok (tavasz-nyár) között, permutációs többváltozós varianciaelemzéssel (PERMANOVA) vizsgáltuk meg (Vicente-Gonzalez és Vicente-Villardón, 2021). A daruszántással érintett területekre és a bolygatatlan kontroll gyepekre jellemző karakterfajok kimutatását indikátorfaj elemzéssel végeztük (Dufrêne és Legendre, 1997). Az elemzéseket R statisztikai programozási környezetben végeztük el (R Core Team, 2021). A vegetáció fajösszetételének összehasonlításához a bolygatott területeken és a kontroll gyepekben a két vizsgálati évben és két évszakban nem metrikus többdimenziós skálázást (NMDS) alkalmaztunk, amihez a fajok százalékos borításértékeit használtuk a CANOCO 5.0 programban (ter Braak és Šmilauer, 2012).

Eredmények és megvitatásuk

Összesen 68 edényes növényfajt találtunk, amelyek közül 62 faj fordult elő a bolygatott területeken, illetve 57 a bolygatatlan gyepeken. A bolygatott területek és a bolygatatlan gyepek fajösszetétele jól elkülönült. Különbséget tapasztaltunk a daruszántással érintett területek tavaszi és

nyári növényzete között, míg a bolygatatlan gyepek fajösszetétele hasonló volt a két vizsgált évszakban. A növényzet összborítása, a kriptogámok borítása és az élő füvek borítása kisebb volt a bolygatott területeken, mint a bolygatatlan gyepekben, míg az élő kétszikűek, a rövidéletű kétszikűek és a rövidéletű füvek nagyobb mennyiségben fordultak elő a bolygatott foltokon. A bolygatott területeket nagyobb Shannon-diverzitás jellemezte, míg kisebb volt a természetesség értéke a kontroll gyepekhez képest. A szálastakarmány minősége csökkent, míg a specifikus levélfelület nőtt a darvak tevékenységének köszönhetően. A növényfajokat hosszabb virágzási idő jellemezte a bolygatott foltokon és a rovarbeporzású növények borítása is nagyobb volt.

Vizsgálatunk során azt találtuk, hogy a táplálkozó darvak olyan növényzeti foltokat hoztak létre, amelyek különböznek a szikes szárazgyepek bolygatatlan állományaitól. Ez arra utal, hogy a darvak egyedi fajösszetétellel rendelkező növényzeti foltokat hoznak létre a gyepeken belül. A bolygatott területeket a korai szukcessziós, rövidéletű füvek és kétszikűek jellemezték, amelyek természetes elemei a szikes gyepek felnyílt, taposott és legeltetett foltjainak (Deák és mtsai., 2015).

Romero és munkatársai (2015) metaanalízisükben kimutatták, hogy az ökoszisztéma-mérnök fajok tevékenységeinek összességében pozitív hatása van a fajok diverzitására, amely globális léptéken 25%-os fajgazdagság növekedést jelent. Vizsgálatunkban jelentős, közel kétszeres növekedést észleltünk a növényi sokféleségben a daruszántással érintett területeken a kontroll gyepekhez képest. Ilyen erős, madárfajok táplálkozásából eredő ökoszisztéma-mérnöki hatást korábban nem mutattak ki (Romero és mtsai., 2015).

A Balázs-féle értékkel kifejezett takarmányminőség alacsonyabb volt a bolygatott területeken a bolygatatlan gyepekhez képest, mivel a bolygatott területeket főként pionír fajok jellemzik, amelyek korán kihajtanak és kiszáradnak a legeltetési szezon elején, így nem biztosítanak megfelelő takarmányt a nyári és őszi időszakban (Balázs,

1949). Ez azt jelzi, hogy a daruszántások jelentős mértékű kiterjedése problémát jelenthet a legelőgazdálkodás számára. Azonban a bolygatott területek általános takarmányminőség csökkenésének negatív következményeit ellensúlyozhatja a kora tavaszi szálastakarmánynövények nagyobb mértékű elérhetősége.

Megállapítottuk, hogy a bolygatott területeken a virágzó növények hosszabb ideig és nagyobb mennyiségben voltak jelen, mint az érintetlen gyepekben. Ez hozzájárulhat a rovarok diverzitásának fenntartásához, különösen a beporzó közösségek és a pollennel táplálkozó fajok esetében (Bátori és mtsai., 2020).

Eredményeink arra utalnak, hogy a darvak táplálkozási tevékenységének hatásai természetvédelmi és legelőgazdálkodási szempontból egyaránt összetettek. A darvak táplálkozásával járó talajbolygatásnak egyaránt voltak pozitív és negatív hatásai a vizsgált gyepi ökoszisztéma különböző szerkezeti és funkcionális komponenseire nézve. A daruszántásokhoz hasonló bolygatott foltok fontos elemei a gyepekkel borított tájaknak, mivel hatékonyan növelik a táji szintű változatosságot és megtelepedési lehetőséget biztosítanak számos növényfajnak (Limb és mtsai., 2010).

2. vizsgálat: A gyöngybagoly (*Tyto alba*) általi másodlagos magterjesztés ökológiai szerepe nyílt élőhelyeken

Bevezetés és célkitűzések

A magterjedés nélkülözhetetlen szerepet játszik a növénypopulációk fennmaradásában, terjedésében és kihalási kockázatának csökkentésében (Nathan, 2006). A fragmentálódott táji környezetben azonban a magterjedési folyamatok limitálttá váltak, az alternatív magterjedési folyamatok felértékelődtek (Auffret és mtsai., 2015; Lepková és mtsai., 2018). Az állatok általi magterjesztés elterjedt a növényvilágban, azonban az állatpopulációkban bekövetkezett változások is jelentős hatással lehetnek erre a terjedési folyamatra (Burney és Flannery, 2005; Farwig és Berens, 2012; Kamp és mtsai., 2016). Ennek következtében az alternatív, korábban alulértékelt terjedési mechanizmusok nélkülözhetelenné válhatnak a magterjesztésben (Jansen és mtsai., 2012; Pérez-Méndez és Rodríguez, 2018; Godó és mtsai., 2022). Tanulmányunkban egy ritka és véletlenszerű, de működőképes magterjedési hálózat mechanizmusát tártuk fel. Ennek a terjedési stratégiának létezik egy olyan alternatív szegmense, amely egy fogyasztó (elsődleges magterjesztő) és predátor által alkotott, többszintű magterjedési folyamatot eredményez, amelyet másodlagos magterjesztésnek (MMT) nevezünk (Pérez-Méndez és Rodríguez, 2018). Az alternatív magterjedési folyamatok szempontjából a nyílt élőhelyeket szembetűnően keveset vizsgálták, összehasonlítva a fás élőhelyekkel (Pearson és Ortega, 2001; Gómez és mtsai., 2019; Godó és mtsai., 2022). Kutatásunkban nyílt élőhelyen vizsgáltunk egy háromszintű magterjesztési hálózatot, amelynek alanyai a magok, a rágcsálók és egy éjjeli ragadozómadárfaj voltak.

Módszerek

Modellfajként a gyöngybaglyot választottuk, mivel széles körben elterjedt és jelentős állománya él nagy egyedszámban a gyepi és mezőgazdasági élőhelyeken Európa-szerte (König és Weick, 2008). Vizsgálati területünk a Hortobágyi Nemzeti Park térségében helyezkedett el, a Hortobágy és a Nagykunság kistájakon, ahol 2019-ben hat helyszínen gyűjtöttünk 25 köpetet évszakonként. További 25 köpetet gyűjtöttünk tavasszal azokon a helyszíneken, ahol sok friss köpet volt elérhető, hogy teszteljük a köpetek hatását a csíranövények megtelepedésére.

A köpeteket egyenként bontottuk szét. Minden köpetben meghatároztuk a prédaállatokat az Ujhelyi (1994) féle csonttani határozókulcsok segítségével. Az emlős maradványokat (például pockok, cickányok és egerek) koponyamorfológiájuk alapján fajszinten azonosítottuk és rögzítettük az egyedszámot is.

A csíráztatásos kísérleteket üvegházban végeztük 2019 májusától 2020 júniusáig. A szétbontott köpeteket egyesével helyeztük el $8,5 \times 8,5 \times 8$ cm-es cserepekbe, melyekben általános virágföld volt. Továbbá kontroll cserepeket is használtunk, amelyek csak virágföldet tartalmaztak, annak érdekében, hogy kiszűrjessük a virágföldből csírázó növényfajokat. A megjelölt csíranövényeket faji szinten meghatároztuk Csapody (1968) és Király (2009) munkái alapján, majd eltávolítottuk azokat a cserepekből.

A köpetek csírázásra kifejtett hatásával kapcsolatos vizsgálatunkhoz fehér mustár (*Sinapis alba*) magjait használtunk. 2019 áprilisában mustármagokat helyeztünk el 50 cserépben, minden cserépben 25 magot. A száraz köpeteket szétdaraboltuk és egy edényben összekevertük és homogenizáltuk. Ezt a homogén köpet anyagot egyenletesen szétterítettük 1 cm vastagságban a magok fölött 25 cserépben, míg a másik 25 cserép köpet nélküli kontrollként szolgált.

Azt vizsgáltuk, hogy a csíranövények száma hogyan függ az évszaktól, amihez Conway-Maxwell Poisson általánosított lineáris regressziós modellt (GLM) alkalmaztunk, amely jól kezeli az adatok nagymértékű szórását (Sellers és Premeaux, 2021). Ezenkívül vizsgáltuk még, hogy a köpetek jelenléte hogyan befolyásolta az átlagos csíranövény tömeget log-transzformált Gamma GLM modell segítségével. Az összes adatkezelést és statisztikai adatelemzést az R statisztikai környezetben végeztük el (R Core Team, 2021).

Eredmények és megvitatásuk

13 kismélységi taxon 1754 egyedét találtuk a vizsgált köpetekben. A prédaállatok túlnyomó többsége mezei pocok (*Microtus arvalis*) volt (62,5%), ami a leggyakoribb zsákmányként szerepelt minden évszakban. A köpetekből 22 növényfaj csírázott ki, amelyek 14 családhoz tartoztak. A csírázott növények nagy része természetes élőhelyekre jellemző generalista és zavarástűrő faj volt. Egy esetben egy köpetből öt növényfaj 30 egyede csírázott. Előbbi kiugró értéket nem számítva, a köpetekből kicsírázott növényfajok száma összesen tíz volt tavasszal, egy nyáron, négy ősszel és három télen. A tavasszal gyűjtött köpetekben volt a legtöbb életképes mag. A legnagyobb mennyiségű köpetenkénti csíranövény szám kettő volt tavasszal, ősszel és télen, és egy nyáron. A köpet anyag jelenléte pozitív hatással volt a csíranövények életképességére. A csíranövények száma, valamint össztömege és egyedi tömege is jelentősen magasabb volt azokban a cserepekben, ahol a mustármagok köpetekkel lettek lefedve.

A baglyok főként mezei pockot zsákmányoltak, mivel az az általuk preferált mérettartományba esik, illetve ez a leggyakoribb és a legkönnyebben elérhető kismélységi faj a vizsgált területen (Ács, 1985). Az, hogy a mintákban a mezei pockok nagy számban fordultak elő, annak is köszönhető, hogy 2019-ben Magyarországon jelentős mezei pocok

gradáció volt tapasztalható, amely a nyári időszakban tetőzött (Jacob és mtsai., 2020).

A köpetekben található életképes magok összetételének szezonális változása összefügghet a zsákmányfajok szezonális érendjével vagy a baglyok élőhelyhasználatának szezonális változásával, azonban nem találtunk egyértelmű magyarázatot a tapasztalt mintázatokra. Feltételezzük, hogy a szezonális MMT megismeréséhez részletesebb kísérletekre lenne szükség a jövőben. A pockok nagy, míg az egerek kis predációs aránya tükrözi a vizsgált terület táji környezetének és az agrárökoszisztémák kisemlős közösségeinek összetételét (Horváth és mtsai., 2018).

A rágcsálók és baglyok által terjesztett növényfajok többsége nem rendelkezett olyan egyértelmű morfológiai adaptációval, amely a zoonózia általi terjedést segíti elő (Sádlo és mtsai., 2018). Az autochória dominanciája azt jelenti, hogy ezek a fajok általában legfeljebb csak néhány méterre terjednek el az anyanövénytől (Sádlo és mtsai., 2018). Eredményeink azt mutatják, hogy a baglyok általi MMT nagyban megnövelheti a potenciális terjedési távolságokat a kizárólag rágcsálók által terjesztett magokhoz képest.

A köpetek csíranövényekre kifejtett hatása esetén azt állapítottuk meg, hogy a köpetekkel takart magok kedvezőbb körülmények között tudtak csírázni, valószínűleg azért, mert kevésbé voltak kitéve a kiszáradásnak, és stabilabb környezetbe kerültek. A köpettel fedett cserepekben a csíranövények biomassza tömege nagyobb volt, valószínűleg azért, mert a köpetekben lévő bomló zsákmány maradványok növelhették a talaj felső rétegében lévő tápanyagok szintjét, ami fontos tényező a fejlődő növények számára (Fedriani és mtsai., 2015).

Bár egyetlen köpettel csak néhány mag képes terjedni, az egyes egyedek által termelt köpetek mennyiségének magas száma és a köpetanyag pozitív hatása a csírázásra azt jelzi, hogy a baglyok fontos szerepet játszhatnak a hosszú távú magterjesztésben a nyílt tájakban.

Új tudományos eredmények

- Eredményeink elsőként bizonyították egy nagytestű madárfaj, az eurázsiai daru ökoszisztéma mérnök tevékenységét szárazgyepekben. A darvak táplálkozó tevékenységükkel felnyitják a zárt gyeptet és növények megtelepedésre alkalmas szabad, nyílt foltokat hoznak létre.
- A darvak által létrehozott bolygatott foltokban a növényzeti borítás alacsony, és bennük egy korai szukcessziós állapotot tükröző növényzet alakul ki, amelyre jellemző a rövidéletű fajok nagy részesedése és az évelő füvek hiánya.
- A bolygatott foltok növényzete diverzebb, a beporzók számára több és hosszabb távon elérhető táplálékforrást biztosít. Ezzel szemben természetességi értéke kisebb a környező gyepekhez képest. Tehát a darvak növelik a tájszintű biodiverzitást és a virágzó növények elérhetőségét, de csökkentik a bolygatatlan szikes gyepek kiterjedését.
- Eredményeink alapján a darvak táplálkozásának hatása gyepgazdálkodási szempontból nem egyértelműen pozitív. A darvak által bolygatott foltok csak a legeltetési szezon legelején képesek megfelelő szalastakarmányt biztosítani a legelő haszonállatok számára, majd a szezon előrehaladtával a takarmányminőség jelentősen leromlik. Az átvonuló és áttelelő daruegyedek számának növekedése esetén a jövőben szükséges lenne a gyepi élőhelyekre kifejtett hatásuk szisztematikus nyomonkövetése.

- Vizsgálatunkban részletesen feltártunk egy többszintű magterjedési folyamatot, amely által először sikerült bizonyítani egy ragadozómadár, a gyöngybagoly másodlagos magterjesztő szerepét nyílt táji környezetben.
- Kimutattuk, hogy a vizsgált másodlagos magterjesztés során legtöbb mag a mezei pocok zsákmányállatok által terjed, amelyek csak elvétve vesznek részt az elsődleges magterjesztésben.
- Bizonyítottuk, hogy a terjesztett növények fajösszetétele jól tükrözi a bagoly által előnyben részesített táplálkozóterületek növényzetét. Esetünkben a növényfajok többsége az agrárökoszisztémákra jellemző generalista és a zavarástűrő gyomfaj volt.
- Kimutattuk, hogy a köpetekben található életképes magok és a csíranövények száma szezonalitást mutat, a legtöbb növényfaj a tavaszi időszakban képes terjedni a baglyok általi másodlagos magterjesztés által.
- Vizsgálatunk rámutatott, hogy a prédaállatok emészthetetlen maradványainak pozitív hatása van a csíranövények megtelepedésére, mivel a köpetanyag fizikai védelmet nyújt számukra a kedvezőtlen környezeti feltételekkel szemben.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek Prof. Dr. Deák Baláznak a munkám során nyújtott folyamatos támogatásáért és szakmai mentorálásáért a terepi és a laboratóriumi munkákban és a publikálás során. Külön köszönet illeti Valkó Orsolyát és Godó Laurát a PhD tanulmányaim és a szakmai pályázataim kivitelezésében nyújtott segítségükért. Továbbá köszönöm a Lendület Vegetáció és Magbank Dinamikai Kutatócsoport munkatársainak a támogató segítségét, valamint a publikációk társszerzőinek – Rádai Zoltánnak és Végvári Zsoltnak – közreműködését. Külön köszönettel tartozom a Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság vezetőségének a PhD tanulmányom elvégzéséhez biztosított támogatásért, illetve kollégáim hatékony közreműködését a kutatások terepi kivitelezésében. Szeretném megköszönni Tóth Mária segítségét a kutatómunkám során felmerült adminisztratív feladatok megoldásában.

Munkámat az KDP 967901 és MEC_R 141154 azonosítójú pályázatok támogatták a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal jóvoltából.



Nyilvántartási szám: DEENK/462/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Borza Sándor
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10073752

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idégen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. Godó, L.*, **Borza, S.***, Valkó, O., Rádai, Z., Deák, B.: Owl-mediated diploendozoochorous seed dispersal increases dispersal distance and supports seedling establishment.
Glob. Ecol. Conserv. 45, 1-11, 2023. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02519>
* Megosztott első szerzős közlemény.
IF: 3.5
2. Valkó, O., **Borza, S.**, Godó, L., Végvári, Z., Deák, B.: The Eurasian crane (*Grus grus*) as an ecosystem engineer in grasslands: Conservation values, ecosystem services, and disservices related to a large iconic bird species.
Land Degrad. Dev. 33 (12), 2155-2165, 2022. ISSN: 1085-3278.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.4314>
IF: 4.7

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

3. **Borza, S.**, Godó, L., Csathó, A. I., Valkó, O., Deák, B.: A közúti közlekedés természetkárosító hatása a magyarországi gerincesfaunára: Szakirodalmi áttekintés.
Termvéd. közl. 27, 1-17, 2021. ISSN: 1216-4585.
DOI: <http://dx.doi.org/10.20332/tvk-jnatconserv.2021.27.1>
4. **Borza, S.**, Végvári, Z., Zalai, T.: A legeltetés hatása a fészkelő partimadár-populációkra a Hortobágyon.
Virgo. 1, 159-177, 2017. ISSN: 2560-0273.





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (7)

5. **Borza, S.**, Godó, L., Valkó, O., Végvári, Z., Deák, B.: Better safe than sorry - Understanding the attitude and habits of drivers can help mitigating animal-vehicle collisions.
J. Environ. Manage. 339, 1-8, 2023. ISSN: 0301-4797.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117917>
IF: 8
6. Deák, B., Bede, Á., Rádai, Z., Dembicz, I., Apostolova, I., Batáry, P., Gallé, R., Tóth, C. A., Dózsai, J., Moysiyenko, I. I., Sudnik-Wójcikowska, B., Zachwatowicz, M., Nekhrizov, G., Lisetskii, F., Buryak, Z., Kis, S., **Borza, S.**, Godó, L., Bragina, T. M., Smelansky, I., Molnár, Á., Bán, M., Báthori, F., Árgay, Z., Dani, J., Kiss, R., Valkó, O.: Contribution of cultural heritage values to steppe conservation on ancient burial mounds of Eurasia.
Conserv. Biol. 37, 1-13, 2023. ISSN: 0888-8892.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.14148>
IF: 5.2
7. Godó, L., Valkó, O., **Borza, S.**, Deák, B.: A global review on the role of small rodents and lagomorphs (clade Glires) in seed dispersal and plant establishment.
Glob. Ecol. Conserv. 33, 1-17, 2022. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01982>
IF: 4
8. Tóth, Á., Deák, B., Tóth, K., Kiss, R., Lukács, K., Rádai, Z., Godó, L., **Borza, S.**, Kelemen, A., Miglécz, T., Bátori, Z., Novák, T., Valkó, O.: Vertical distribution of soil seed bank and the ecological importance of deeply buried seeds in alkaline grasslands.
PeerJ. 10, 1-19, 2022. EISSN: 2167-8359.
DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13226>
IF: 2.7
9. Kiss, R., Deák, B., Tóthmérész, B., Miglécz, T., Tóth, K., Török, P., Lukács, K., Godó, L., Körmöczy, Z., Radócz, S., **Borza, S.**, Kelemen, A., Sonkoly, J., Kirmer, A., Tischev, S., Valkó, O.: Zoochory on and off: A field experiment for trait-based analysis of establishment success of grassland species.
J. Veg. Sci. 32 (4), 1-12, 2021. ISSN: 1100-9233.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jvs.13051>
IF: 3.389
10. **Borza, S.**, Deák, B., Godó, L., Valkó, O.: Photo Story - Conservation values of the alkaline grasslands: Hortobágy National Park, East Hungary.
Pal. Grassl. 46, 64-72, 2020. ISSN: 2627-9827.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21570/EDGG.PG.46.64-72>





11. Végvári, Z., **Borza, S.**, Juhász, K.: The role of phylogeny and life history of migratory waterbirds in designing fishpond management plans.
Ecol. Eng. 85, 288-295, 2015. ISSN: 0925-8574.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.007>
IF: 2.74

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (1)

12. **Borza, S.**, Hoffmann, K.: Tájrehabilitáció és természetvédelem (I).
Magyar Mezőgazd. 75 (40), 35-35, 2020. ISSN: 0025-018X.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 34,229

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
8,2**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.09.02.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Effect of seed dispersal and biopedturbation by
birds on the structure and vegetation composition
of dry grasslands**

by SÁNDOR BORZA

Supervisor:

Prof. Dr. Balázs Deák
scientific advisor



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Juhász-Nagy Pál

Debrecen, 2024

Introduction

The conservation role of alkaline grassland ecosystems

Grassland habitats are terrestrial ecosystems dominated by grasses and herbaceous dicotyledonous plant species. In general, these habitats are formed and maintained by a unique combination of abiotic (e.g., climatic elements or fire) and biotic (e.g., intra- and interspecific ecological relationships or management-related activities such as grazing) factors. Grasslands are widespread worldwide, covering about 41% of the Earth's terrestrial area (White et al., 2000). Dry grasslands located in Europe are of outstanding conservation value, and provide shelter for many rare and endangered plant and animal species. As these grasslands often maintain a high level of biodiversity, their protection and maintenance are important tasks of nature conservation (Dengler et al., 2014). Due to its geographical location, the Carpathian Basin lies at the border of the western distribution of the Eurasian forest-steppes, providing an important contribution to the biodiversity of Central-Europe (Bátori et al., 2018).

The role of small-scale disturbances by ecosystem engineering animals in grassland ecosystems

Through their activities, ecosystem engineering species create, modify or maintain environmental conditions that can significantly affect the living conditions of other organisms (Jones et al., 1994). Their impact on ecosystems depends significantly on the spatial scale under study (Coggan et al., 2018). At small scales, ecosystem engineering species can create microhabitats for other species. Ecosystem engineer animals have a significant impact on the vegetation composition and dynamics through a variety of mechanisms. However, the impact of soil disturbance on ecosystem functioning has been poorly documented for avian activities, with 96% of studies on soil disturbance focusing on mammals (Mallen-Cooper et al., 2019). Among birds, there are examples of cavity-nesting

species removing native vegetation by digging and using their living cavities and causing soil disturbance, thereby affecting local habitat conditions (McKechnie, 2006; Rengifo-Faiffer and Arana, 2019).

The role of alternative seed dispersal processes in grassland ecosystems

Seed dispersal is essential to maintain populations, reduce the risk of local extinctions, and promote the recolonisation of specific habitats. Seed dispersal therefore determines the distribution, abundance and population dynamics of plant species (Hanski, 1999; Lindborg et al., 2012). With the loss and fragmentation of natural habitats due to climate change and human activities, the importance of seed dispersal processes has increased, as they help maintain functional relationships between meta-populations, and thus contribute to ecosystem functioning (Chen et al., 2011; Fletcher et al., 2018; Godó et al., 2022).

Zoochory is one of the most widespread types of plant dispersal in terrestrial ecosystems. As many animal species are able to travel long distances with seeds on their bodies or in their digestive tracts, zoochory may contribute to long-distance seed dispersal (Nathan, 2006). Several recent studies have aimed to explore and highlight the importance of other seed dispersal vectors, such as the role of rodents, predatory mammals and birds of prey (Jansen et al., 2012; Hämäläinen et al., 2017; Pérez-Méndez and Rodríguez, 2018; Godó et al., 2022).

Aims of the dissertation

The aim of this dissertation is to gain a deeper understanding of the role of bird species in the conversion of dry grassland habitats through bird-plant interactions that influence the species composition and structure of dry grasslands. These ecological processes were studied in semi-natural and human-transformed landscapes, with a focus on the Hortobágy region. The dissertation consists of two chapters based on impact factor papers published in international journals.

Effects of crane-induced biopedturbation on grassland plant communities

The main objective of our study was to investigate the effects of soil disturbance related to the foraging behaviour of Eurasian cranes (*Grus grus*) on the vegetation composition of dry grasslands, and to assess the role of cranes as ecosystem engineers based on indicators of vegetation naturalness, forage quality and the presence of flowering plants (Valkó et al., 2022).

The ecological role of secondary seed dispersal by owls in open habitats

The main objective of our study was to investigate the ecological role of secondary seed dispersal by barn owls (*Tyto alba*) in a large-scale germination experiment. We focused our research on open landscape environments, because this seed dispersal system is understudied in these habitats compared to woody ecosystems. In addition to secondary seed dispersal, we also investigated the effect of pellets on germination and seedling establishment (Godó & Borza et al., 2023).

Study 1: Effect of biopedturbation by Eurasian cranes (*Grus grus*) on the vegetation structure of grasslands

Introduction and aims

In recent decades, Hortobágy National Park has become one of the largest crane stopover sites in Europe and the world (Végyvári et al., 2010). Field experience shows that the seasonal high abundance of Eurasian cranes (*Grus grus*) leads to noticeable changes in the alkaline grasslands of Hortobágy. Their foraging activities create so-called "crane-ploughing", which have a significant impact on the structure and species composition of the grasslands (Valkó et al. 2022). In this way, these common birds also affect ecosystem services by acting as ecosystem engineers in alkaline grasslands. The aim of our study was to better understand this effect.

Methods

Ten sampling sites were selected in Hortobágy National Park (Angyalháza, Kunmadarasi-puszta, Nagyiváni-puszta) in October 2019. Ten 1 × 1 m quadrats were selected at each sampling site, resulting in a total of 100 disturbed and 100 control quadrats. In each quadrat, we recorded the species list of vascular plants and the presence of cryptogams, for which we also recorded the total percent cover. Field sampling was carried out on four occasions: early April 2020, mid-June 2020, early April 2021, and mid-June 2021.

The vascular plant species detected during the survey were classified into four morphological groups: short-lived forbs, short-lived graminoids, perennial forbs and perennial graminoids. Two indicators were used for the conservation values: Shannon diversity and naturalness score. To characterise the naturalness of the vegetation, plant species were classified into social behaviour types according to Borhidi's classification system (Borhidi, 1995). Two additional indicators were used to assess

pasture quality: the forage quality index (Balázs, 1949), and the specific leaf area (SLA). The presence of flowering plants was characterised by two indicators: the flowering period of species, and the cover of insect-pollinated species. Flowering period was calculated based on the work of Király (2009), using the flowering time of plant species measured in months.

Generalised linear mixed models (GLMM) were used to test the effects of disturbance (two levels: disturbed areas, undisturbed grassland; explanatory variable) and season (two levels: spring, summer; explanatory variable). Permutation multivariate analysis of variance (PERMANOVA) was used to test whether plant species cover differed i) between disturbed and control areas, ii) between years (2020-2021), and iii) between seasons (spring-summer) (Vicente-Gonzalez & Vicente-Villardón, 2021). Indicator species analysis was used to detect characteristic species specific to crane-ploughing areas and undisturbed control grasslands (Dufrêne & Legendre, 1997). Analyses were performed in R statistical programming environment (R Core Team, 2021). To compare the species composition of the vegetation in the disturbed areas and control grasslands in the two study years, and two seasons, we used non-metric multidimensional scaling (NMDS) with species percent cover values in CANOCO 5.0 (ter Braak & Šmilauer, 2012).

Results and discussion

A total of 68 vascular plant species were found, of which 62 species occurred in the disturbed areas, and 57 in the undisturbed grassland. The species composition of the disturbed and undisturbed grasslands was well separated. A difference was observed between the spring and summer vegetation of the crane-ploughing areas, while the species composition of the undisturbed grasslands was similar in the two seasons. Total vegetation cover, cryptogam cover and perennial graminoids cover were

lower in the disturbed areas than in the undisturbed grassland, while perennial forbs, short-lived forbs and short-lived graminoids were more abundant in the disturbed areas. The crane-ploughing plots were characterised by higher Shannon diversity and lower naturalness scores compared to the control plots. Forage quality decreased, while specific leaf area increased due to crane activity. Plant species were characterised by longer flowering times and higher insect-pollinated species cover in the disturbed patches.

We found that feeding cranes created vegetation patches that differed from undisturbed plots in alkaline dry grasslands. This suggests that cranes create vegetation patches with a unique species composition within the grasslands. The disturbed patches were characterised by early successional short-lived graminoids and forbs, which are natural elements of open, trampled and grazed alkaline grasslands (Deák et al., 2015).

In their meta-analysis, Romero et al. (2015) showed that the activities of ecosystem engineers have an overall positive effect on species diversity, which translates into a 25% increase in species richness on a global scale. In our study, we observed an almost two-fold increase in plant diversity in crane-ploughing areas compared to control grasslands. Such a strong ecosystem engineering effect resulting from the foraging bird species has not been shown previously (Romero et al., 2015).

Forage quality, as expressed by the Balázs-score, was lower in disturbed areas compared to undisturbed grasslands, because disturbed areas are mainly characterised by pioneer species that sprout early and dry out in the early grazing season, thus not providing adequate forage in summer and autumn (Balázs, 1949). This suggests that the large extent of crane-ploughing may pose a challenge for pasture management. However, the negative consequences of the overall reduction in forage quality in the disturbed areas may be offset by the increased availability of early spring forage plants.

Flowering plants were found to be present for longer periods and in greater abundance in disturbed areas than in undisturbed grassland. This may contribute to maintaining insect diversity, especially in pollinator communities and palynivores (Bátori et al., 2020).

Our results suggest that the effects of crane foraging are complex from both conservation and rangeland management perspectives. Soil disturbance associated with crane foraging had both positive and negative effects on different structural and functional components of the studied grassland ecosystem. Disturbed patches, such as those created by crane-ploughing, are important elements of grassland landscapes as they effectively enhance landscape-level biodiversity and provide colonisation opportunities for a wide range of plant species (Limb et al., 2010)

Study 2: The ecological role of secondary seed dispersal by Barn owl (*Tyto alba*) in the open landscapes

Introduction and aims

Seed dispersal is essential for the persistence, dispersal and reduction of extinction risk in plant populations (Nathan, 2006). In fragmented landscapes, where seed dispersal processes are limited, alternative seed dispersal processes have a high importance (Auffret et al., 2015; Lepková et al., 2018). Seed dispersal by animals is widespread in the terrestrial ecosystems; thus, changes in animal populations can have a significant impact on this dispersal process (Burney and Flannery, 2005; Farwig and Berens, 2012; Kamp et al., 2016). As a consequence, alternative, previously underestimated dispersal mechanisms may become indispensable for seed dispersal (Jansen et al., 2012; Pérez-Méndez and Rodríguez, 2018; Godó et al., 2022). In our study, we investigated the mechanisms of a rare and stochastic, yet functional seed dispersal network. There is an alternative type of dispersal strategy results in a multilevel seed dispersal process involving a seed consumer (the primary seed disperser) and a predator, known as secondary seed dispersal (SSD) (Pérez-Méndez and Rodríguez, 2018).

In terms of alternative seed dispersal processes, open habitats have been remarkably understudied compared to woody habitats (Pearson and Ortega, 2001; Gómez et al., 2019; Godó et al., 2022). In our study, we investigated a three-level seed dispersal network in open habitats, involving seeds, rodents and a nocturnal raptor.

Methods

We chose Barn owl (*Tyto alba*) as a model species, because it is widespread and has a large population in grasslands and agricultural habitats throughout Europe (König and Weick, 2008). Our study area was located in the Hortobágy National Park (located in the Hortobágy and

Nagykunság regions), where we collected 25 pellets per season at six sites in 2019. An additional 25 pellets were collected in spring at sites where there was a lot of fresh pellets available to test the effect of pellet on plant establishment.

The pellets were dissected individually. The prey species in each pellet was determined using identification key by Ujhelyi (1994). Small mammal remains (e.g., voles, shrews and mice) were identified to species level, based on skull morphology and the number of individuals was recorded.

Germination experiments were conducted in a greenhouse from May 2019 to June 2020. The dissected pellets were individually placed in $8.5 \times 8.5 \times 8$ cm pots containing general potting soil. In addition, control pots containing only potting soil were used to filter out germinating plant species from the potting soil. Emerging germinating plants were identified to species level based on the work of Csapody (1968) and Király (2009), and then removed from the pots.

For studying the effect of pellet material on germination, we used white mustard (*Sinapis alba*) seeds. In April 2019, we placed mustard seeds in 50 pots, with 25 seeds in each pot. The dry pellets were crushed and mixed in a container and homogenised. This homogeneous pellet material was spread evenly over the seeds in 25 pots at a thickness of 1 cm, while the other 25 pots served as a control without pellet.

We investigated how the number of seedlings depended on the season using a Conway-Maxwell Poisson generalised linear regression model (GLM), which handles large variance in data (Sellers and Premeaux, 2021). We also investigated how the presence of pellet material affected mean seedling weight using a log-transformed gamma GLM model. All data processing and statistical data analysis was performed in the R statistical environment (R Core Team, 2021).

Results and discussion

1754 individuals of 13 mammalian taxa were found in the pellet samples. The vast majority of prey was Common vole (*Microtus arvalis*) (62.5%), which was the most abundant prey in all seasons. 22 plant species belonging to 14 families germinated from pellets. Most of the germinated plants were generalist and disturbance-tolerant species typical of natural habitats. In one case, 30 individuals of five plant species germinated from one pellet. Excluding the first outlier, the total number of plant species germinated from pellets were ten in spring, one in summer, four in autumn and three in winter. Pellets collected in spring had the highest number of viable seeds. The highest number of seedlings per pellet was two in spring, two in autumn and winter and one in summer. The presence of pellet material had a positive effect on seedling viability. The number of seedlings as well as the total and individual weights were significantly higher in the pots where the mustard seeds were covered with pellet material.

The owls mainly preyed on voles, as they fall within their preferred size range and are the most abundant and easily accessible small mammal species in the study area (Ács, 1985). The high abundance of voles in the samples may be due to the fact that Hungary experienced a significant vole gradation in 2019, which peaked in summer (Jacob et al., 2020).

Seasonal variation in the composition of viable seeds in pellets may be related to seasonal diet of prey species or seasonal changes in owl habitat use, but no clear explanation for the observed patterns was identified. We suggest that more detailed experiments are needed in the future to understand seasonal SSD. High predation rates of voles and low predation rates of mice reflect the small mammal communities of the landscape environment of the study area and of agroecosystems (Horváth et al., 2018).

Based on the dispersal strategy of germinated plants, autochory was the most important type of dispersal. The majority of species dispersed by

rodents and owls had no clear morphological adaptations that favoured dispersal by autochory (Sádlo et al., 2018). The dominance of autochory indicates that these species typically disperse no more than a few meters from the parent plant (Sádlo et al., 2018). Our results show that SSD by owls can significantly increase potential dispersal distances compared to seeds dispersed by rodents alone.

Regarding the effect of pellet material on seedlings, we found that pellet-covered seeds were able to germinate under more favourable conditions, probably because they were less exposed to desiccation and placed in a more stable environment. The biomass of seedlings was higher in the pellet-covered pots, likely due to the decaying prey remains in the pellets, which increased nutrient levels in the upper soil layer, an important factor for plant establishment (Fedriani et al., 2015).

Although only a few seeds can be dispersed by a single pellet, the high number of pellets produced by each owl and the positive effect of pellet material on germination suggest that owls may play an important role in long-term seed dispersal in open landscapes.

New scientific results

- Our results are the first to demonstrate ecosystem engineering in dry grasslands by a large bird species, the Eurasian crane. Cranes use their feeding activity to open up closed grasslands and create open patches suitable for plant colonisation.
- The disturbed patches created by the cranes have low vegetation cover and a vegetation pattern that reflects an early successional stage, characterised by a high proportion of short-lived species and a lack of perennial graminoids.
- Vegetation in crane-ploughing areas is more diverse and provides more and longer term food sources for pollinators. In contrast, the naturalness score of the patches is lower than that of the surrounding grassland. Thus, cranes increase landscape-level biodiversity and the availability of flowering plants, but reduce the extent of undisturbed alkaline grasslands.
- Our results suggest that the impact of crane foraging on grassland management is not definitely positive. Crane-ploughing patches are only able to provide adequate forage for grazing livestock at the beginning of the grazing season, and then the quality of the forage deteriorates significantly as the season progresses. As the number of migrating and wintering cranes increases, systematic monitoring of their impact on grassland habitats would be necessary in the future.
- In our study, we have investigated in detail a multi-level seed dispersal process and for the first time demonstrate the role of a raptor, the barn owl, in secondary seed dispersal in open landscapes.

- We show that most of the seeds in our secondary dispersal study are dispersed by common voles, which are only marginally involved in primary seed dispersal.
- We have shown that the species composition of dispersed plants reflects the vegetation of the owl's preferred feeding areas. In our case, the majority of plant species were generalist and disturbance-tolerant weed species typical of agroecosystems.
- We have shown that the number of viable seeds in pellets and seedlings are seasonal, with most plant species able to disperse in spring through secondary seed dispersal by owls.
- Our study has shown that the indigestible remains of prey have a positive effect on seedling establishment by providing physical protection against adverse environmental conditions.

Acknowledgements

I would like to thank my supervisor Prof. Dr. Balázs Deák for his continuous support and professional guidance during my field, laboratory and publication work. Special thanks go to Orsolya Valkó and Laura Godó for their help in my Ph.D. studies and in the implementation of my professional applications. I would also like to thank the staff of the Lendület Seed Ecology Research Group for their support and the co-authors of the publications - Zoltán Rádai and Zsolt Végvári. I am especially grateful to the management of the Hortobágy National Park for the support of my Ph.D. studies and to my colleagues for their efficient help during the field work. I would also like to thank Mária Tóth for her help in solving administrative tasks during my research.

My work was supported by grants KDP 967901 and MEC_R 141154 from the National Research, Development and Innovation Office.



Registry number: DEENK/462/2024.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Sándor Borza

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10073752

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. Godó, L., **Borza, S.***, Valkó, O., Rádai, Z., Deák, B.: Owl-mediated diploendozoochorous seed dispersal increases dispersal distance and supports seedling establishment.
Glob. Ecol. Conserv. 45, 1-11, 2023. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02519>
* These authors contributed equally to this work.
IF: 3.5
2. Valkó, O., **Borza, S.**, Godó, L., Végvári, Z., Deák, B.: The Eurasian crane (*Grus grus*) as an ecosystem engineer in grasslands: Conservation values, ecosystem services, and disservices related to a large iconic bird species.
Land Degrad. Dev. 33 (12), 2155-2165, 2022. ISSN: 1085-3278.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.4314>
IF: 4.7

List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

3. **Borza, S.**, Godó, L., Csathó, A. I., Valkó, O., Deák, B.: A közúti közlekedés természetkárosító hatása a magyarországi gerincesfaunára: Szakirodalmi áttekintés.
Termvéd. közl. 27, 1-17, 2021. ISSN: 1216-4585.
DOI: <http://dx.doi.org/10.20332/tvk-jnatconserv.2021.27.1>
4. **Borza, S.**, Végvári, Z., Zalai, T.: A legeltetés hatása a fészkelő partimadár-populációkra a Hortobágyon.
Virgo. 1, 159-177, 2017. ISSN: 2560-0273.





Foreign language scientific articles in international journals (7)

5. **Borza, S.**, Godó, L., Valkó, O., Végvári, Z., Deák, B.: Better safe than sorry - Understanding the attitude and habits of drivers can help mitigating animal-vehicle collisions.
J. Environ. Manage. 339, 1-8, 2023. ISSN: 0301-4797.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117917>
IF: 8
6. Deák, B., Bede, Á., Rádai, Z., Dembicz, I., Apostolova, I., Batáry, P., Gallé, R., Tóth, C. A., Dózsai, J., Moysiyyenko, I. I., Sudnik-Wójcikowska, B., Zachwatowicz, M., Nekhrizov, G., Lisetskii, F., Buryak, Z., Kis, S., **Borza, S.**, Godó, L., Bragina, T. M., Smelansky, I., Molnár, Á., Bán, M., Báthori, F., Árgay, Z., Dani, J., Kiss, R., Valkó, O.: Contribution of cultural heritage values to steppe conservation on ancient burial mounds of Eurasia.
Conserv. Biol. 37, 1-13, 2023. ISSN: 0888-8892.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/cobi.14148>
IF: 5.2
7. Godó, L., Valkó, O., **Borza, S.**, Deák, B.: A global review on the role of small rodents and lagomorphs (clade Glires) in seed dispersal and plant establishment.
Glob. Ecol. Conserv. 33, 1-17, 2022. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01982>
IF: 4
8. Tóth, Á., Deák, B., Tóth, K., Kiss, R., Lukács, K., Rádai, Z., Godó, L., **Borza, S.**, Kelemen, A., Miglécz, T., Bátor, Z., Novák, T., Valkó, O.: Vertical distribution of soil seed bank and the ecological importance of deeply buried seeds in alkaline grasslands.
PeerJ. 10, 1-19, 2022. EISSN: 2167-8359.
DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13226>
IF: 2.7
9. Kiss, R., Deák, B., Tóthmérész, B., Miglécz, T., Tóth, K., Török, P., Lukács, K., Godó, L., Körmöczi, Z., Radócz, S., **Borza, S.**, Kelemen, A., Sonkoly, J., Kirmer, A., Tischew, S., Valkó, O.: Zoochory on and off: A field experiment for trait-based analysis of establishment success of grassland species.
J. Veg. Sci. 32 (4), 1-12, 2021. ISSN: 1100-9233.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jvs.13051>
IF: 3.389
10. **Borza, S.**, Deák, B., Godó, L., Valkó, O.: Photo Story - Conservation values of the alkaline grasslands: Hortobágy National Park, East Hungary.
Pal. Grassl. 46, 64-72, 2020. ISSN: 2627-9827.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21570/EDGG.PG.46.64-72>





11. Végvári, Z., **Borza, S.**, Juhász, K.: The role of phylogeny and life history of migratory waterbirds in designing fishpond management plans.

Ecol. Eng. 85, 288-295, 2015. ISSN: 0925-8574.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.10.007>

IF: 2.74

Informational/educational articles (1)

12. **Borza, S.**, Hoffmann, K.: Tájrehabilitáció és természetvédelem (I.).

Magyar Mezőgazd. 75 (40), 35-35, 2020. ISSN: 0025-018X.

Total IF of journals (all publications): 34,229

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 8,2

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

02 September, 2024



Irodalomjegyzék - References

- Ács, A. (1985). A bagolyköpetvizsgálatok alapjai. A Magyar Madártani Egyesület Zalai Helyi Csoportjának kiadványa, Zalaegerszeg. 58 oldal.
- Auffret, A. G., Plue, J., & Cousins, S. A. (2015). The spatial and temporal components of functional connectivity in fragmented landscapes. *Ambio*, *44*(1), 51–59.
- Balázs, F. (1949). A gyepék termésbecslése növénycönológia alapján. *Agrártudományok*, *1*, 25–35.
- Bátori, Z., Erdős, L., Kelemen, A., Deák, B., Valkó, O., Gallé, R., Bragina, T. M., Kiss, P.J., Kröel-Dulay, G., Tölgyesi, C. (2018). Diversity patterns in sandy forest-steppes – a comparative study from the western and central Palaearctic. *Biodiversity and Conservation*, *27*, 1011–1030.
- Bátori, Z., Kiss, P.J., Tölgyesi, C., Deák, B., Valkó, O., Török, P., Erdős, L., Tóthmérész, B., Kelemen, A. (2020). River embankments mitigate the loss of grassland biodiversity in agricultural landscapes. *River Research and Applications*, *36*(7), 1160–1170.
- Borhidi, A. (1995). Social behaviour types, the naturalness and relative ecological indicator values of the higher plants in the Hungarian Flora. *Acta Botanica Hungarica*, *39*, 97–181.
- Burney, D. A., & Flannery, T. F. (2005). Fifty millennia of catastrophic extinctions after human contact. *Trends in Ecology & Evolution*, *20*(7), 395–401.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., & Thomas, C. D. (2011). Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science*, *333*(6045), 1024–1026.

- Clyde, N., Hargan, K. E., Forbes, M. R., Iverson, S. A., Blais, J. M., Smol, J. P., ... & Gilchrist, H. G. (2021). Seaduck engineers in the Arctic Archipelago: nesting eiders deliver marine nutrients and transform the chemistry of island soils, plants, and ponds. *Oecologia*, *195*(4), 1041–1052.
- Coggan, N. V., Hayward, M. W., & Gibb, H. (2018). A global database and “state of the field” review of research into ecosystem engineering by land animals. *Journal of Animal Ecology*, *87*(4), 974–994.
- Csapody, V. (1968). Keimlingsbestimmungsbuch der dikotyledonen. *Fragmenta Botanica Musei historico-naturalis Hungarici*, *3*, 109–126.
- Deák, B., Valkó, O., Török, P., Kelemen, A., Migléc, T., Szabó, S., Szabó, G., Tóthmérész, B. (2015). Micro-topographic heterogeneity increases plant diversity in old stages of restored grasslands. *Basic and Applied Ecology*, *16*, 291–299.
- Dengler, J., Janišová, M., Török, P., & Wellstein, C. (2014). Biodiversity of Palaearctic grasslands: a synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *182*, 1–14.
- Dufrêne, M., & Legendre, P. (1997). Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, *67*, 345–366.
- Farwig, N., & Berens, D. G. (2012). Imagine a world without seed dispersers: a review of threats, consequences and future directions. *Basic and Applied Ecology*, *13*(2), 109–115.
- Fedriani, J. M., Garrote, P. J., Delgado, M. M., & Penteriani, V. (2015). Subtle gardeners: inland predators enrich local topsoils and enhance plant growth. *PLoS ONE*, *10*, e0138273.

- Fletcher, R. J., Didham, R. K., Banks-Leite, C., Barlow, J., Ewers, R. M., Rosindell, J., Holt, R. D., Gonzalez, A., Pardini, R., Damschen, E. I., Melo, F. P. L., Ries, L., Prevedello, J. A., Tschardt, T., Laurance, W.F., Lovejoy, T., & Haddad, N. M. (2018). Is habitat fragmentation good for biodiversity? *Biological Conservation*, 226, 9–15.
- Godó, L., Borza, S., Valkó, O., Rádai, Z., & Deák, B. (2023). Owl-mediated diploendozoochorous seed dispersal increases dispersal distance and supports seedling establishment. *Global Ecology and Conservation*, 45, e02519.
- Godó, L., Valkó, O., Borza, S., & Deák, B. (2022). A global review on the role of small rodents and lagomorphs (clade Glires) in seed dispersal and plant establishment. *Global Ecology and Conservation*, 33, e01982.
- Gómez, J. M., Schupp, E. W., & Jordano, P. (2019). Synzoochory: the ecological and evolutionary relevance of a dual interaction. *Biological Reviews*, 94(3), 874–902.
- Hämäläinen, A., Broadley, K., Droghini, A., Haines, J. A., Lamb, C. T., Boutin, S., & Gilbert, S. (2017). The ecological significance of secondary seed dispersal by carnivores. *Ecosphere*, 8(2), e01685.
- Hanski, I. (1999). *Metapopulation ecology*. Oxford University Press. 313 oldal.
- Jacob, J., Imholt, C., Caminero-Saldaña, C., Couval, G., Giraudoux, P., Herrero-Cófreces, S., ... & Wymenga, E. (2020). Europe-wide outbreaks of common voles in 2019. *Journal of Pest Science*, 93(2), 703–709.
- Jansen, P. A., Hirsch, B. T., Emsens, W. J., Zamora-Gutierrez, V., Wikelski, M., & Kays, R. (2012). Thieving rodents as substitute dispersers of megafaunal seeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 12610–12615.

- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. In *Ecosystem Management* (pp. 130–147). Springer, New York.
- Kamp, J., Koshkin, M. A., Bragina, T. M., Katzner, T. E., Milner-Gulland, E. J., Schreiber, D., ... & Urazaliev, R. (2016). Persistent and novel threats to the biodiversity of Kazakhstan's steppes and semi-deserts. *Biodiversity and Conservation*, *25*(12), 2521–2541.
- Király, G. (2009). Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hajtásos növényei. Határozókulcsok. Aggtelek National Park Directorate, Jósvafő, 628 oldal.
- König, C. & Weick, F. (2008). *Owls of the world*. A&C Black. 528 oldal.
- Lepková, B., Horčíčková, E., & Vojta, J. (2018). Endozoochorous seed dispersal by free-ranging herbivores in an abandoned landscape. *Plant Ecology*, *219*(9), 1127–1138.
- Limb, R. F., Engle, D. M., Bidwell, T. G., Althoff, D. P., Anderson, A. B., Gipson, P. S., & Howard, H. R. (2010). Restoring biopedturbation in grasslands with anthropogenic focal disturbance. *Plant Ecology*, *210*(2), 331–342.
- Lindborg, R., Helm, A., Bommarco, R., Heikkinen, R.K., Kühn, I., Pykälä, J., & Pärtel, M. (2012). Effect of habitat area and isolation on plant trait distribution in European forests and grasslands. *Ecography*, *35*(4), 356–363.
- Mallen-Cooper, M., Nakagawa, S., & Eldridge, D. J. (2019). Global meta-analysis of soil-disturbing vertebrates reveals strong effects on ecosystem patterns and processes. *Global Ecology and Biogeography*, *28*(5), 661–679.
- McKechnie, S. (2006). Biopedturbation by an island ecosystem engineer: burrowing volumes and litter deposition by sooty shearwaters (*Puffinus griseus*). *New Zealand Journal of Zoology*, *33*(4), 259–265.

- Mosbech, A., Johansen, K. L., Davidson, T. A., Appelt, M., Grønnow, B., Cuyler, C., ... & Flora, J. (2018). On the crucial importance of a small bird: The ecosystem services of the little auk (*Alle alle*) population in Northwest Greenland in a long-term perspective. *Ambio*, 47(2), 226–243.
- Nathan, R. (2006). Long-distance dispersal of plants. *Science*, 313(5788), 786–788.
- Pearson, D. E., & Ortega, Y. K. (2001). Evidence of an indirect dispersal pathway for Spotted Knapweed, *Centaurea maculosa*, seeds via Deer Mice, *Peromyscus maniculatus*, and Great Horned Owls, *Bubo virginianus*. *Canadian Field-Naturalist*, 115(2), 354.
- Pérez-Méndez, N., & Rodríguez, A. (2018). Raptors as Seed Dispersers. In *Birds of Prey* (pp. 139–158). Springer, Cham.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing (ver. 4.0.5). Computer software, R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org>
- Rengifo-Faiffer, M. C., & Arana, C. (2019). Fossorial birds help shape the plant community of a Peruvian desert. *Journal of Arid Environments*, 169, 29–33.
- Romero, G. Q., Gonçalves-Souza, T., Vieira, C., & Koricheva, J. (2015). Ecosystem engineering effects on species diversity across ecosystems: a meta-analysis. *Biological Reviews*, 90(3), 877–890.
- Sádlo J., Chtrý M., Pergl J. & Pyšek P. (2018). Plant dispersal strategies: a new classification based on the multiple dispersal modes of individual species. *Preslia*, 90, 1–22.
- Ter Braak, C.J.F., Šmilauer, P. (2012). *CANOCO Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination*. Microcomputer power, Itaca, Wageningen version 5.0.
- Ujhelyi, P. (1994). *A magyarországi vadonélő emlősállatok határozója: Küllemi és csonttani bélyegek alapján* (2. kiadás). Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, Budapest. 188 oldal.

- Valkó, O., Borza, S., Godó, L., Végvári, Z., & Deák, B. (2022). The Eurasian crane (*Grus grus*) as an ecosystem engineer in grasslands: Conservation values, ecosystem services, and disservices related to a large iconic bird species. *Land Degradation & Development*, 33(12), 2155–2165.
- Végvári, Z., Hansbauer, M. M., & Schulte, B. (2010). The Hortobágy National Park-one of the most important stop-over sites for the Eurasian Crane in Europe: changes and threats. In *Cranes, agriculture and climate change* (pp. 77-82). Proceedings of a workshop organized by the International Crane Foundation and Muraviovka Park for Sustainable Land Use, Muraviovka Park, Russia.
- Vicente-Gonzalez, L., & Vicente-Villardón, J. L. (2021). PERMANOVA: multivariate analysis of variance based on distances and permutations. R package version 0.2.0.
- White, R. P., Murray, S., Rohweder, M., Prince, S. D., & Thompson, K. M. (2000). *Grassland ecosystems*. World Resources Institute, Washington. 81 oldal.